

Tiphaine Chevallier, Tantely M. Razafimbelo, Lydie Chapuis-Lardy et Michel Brossard (dir.)

Carbone des sols en Afrique Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles

IRD Éditions

Chapitre 4. Étude préliminaire à la spatialisation des stocks de carbone organique des sols au Rwanda

Ann Verdoodt, Geert Baert, Jean Chapelle et Eric Van Ranst

DOI : 10.4000/books.irdeditions.34907

Éditeur : IRD Éditions, FAO

Lieu d'édition : Rome, Marseille

Année d'édition : 2020

Date de mise en ligne : 16 décembre 2020

Collection : Synthèses

ISBN électronique : 9782709928373



<http://books.openedition.org>

Édition imprimée

Date de publication : 1 septembre 2020

Référence électronique

VERDOODT, Ann ; et al. *Chapitre 4. Étude préliminaire à la spatialisation des stocks de carbone organique des sols au Rwanda* In : *Carbone des sols en Afrique : Impacts des usages des sols et des pratiques agricoles* [en ligne]. Rome, Marseille : IRD Éditions, 2020 (généré le 18 décembre 2020). Disponible sur Internet : <<http://books.openedition.org/irdeditions/34907>>. ISBN : 9782709928373. DOI : <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.34907>.

Étude préliminaire à la spatialisation des stocks de carbone organique des sols au Rwanda

*Ann VERDOODT, Geert BAERT,
Jean CHAPELLE, Eric VAN RANST*

Introduction

Les sols de l'Afrique centrale sont caractérisés par une grande diversité, allant de sols minces, pierreux ou sableux, peu productifs à des sols profonds fertiles et capables de recycler de grandes quantités de biomasse (BATIONO *et al.*, 2006). Dans cette région essentiellement rurale, du fait de facteurs socio-économiques difficiles, la gestion des terres, souvent inadaptée, menace la qualité des sols, engendre une plus faible productivité agricole et augmente l'insécurité alimentaire. Afin de mettre en œuvre des stratégies et une planification du développement qui soient respectueuses d'un usage durable des terres, les décideurs doivent disposer d'informations fiables sur les sols. Or les sols ne sont pas caractérisés dans de nombreuses études menées dans cette région. Par exemple, les estimations des stocks de carbone organique des sols (COS) reposent souvent sur l'utilisation de fonctions de pédotransfert pour pallier au manque de mesures de densité apparente, ce qui augmente l'incertitude des résultats. Ce chapitre évalue la qualité et la représentativité de la base de données sur les profils de sols du Rwanda et illustre sa valeur potentielle pour le calcul des stocks de COS sur l'ensemble du pays.

Matériels et méthodes

Le système d'information des sols rwandais

Le système d'information des sols du Rwanda repose sur une base de données de 1 833 profils de sols géoréférencés. L'ensemble des informations a été collecté entre 1981 et 1989 par le projet « Carte pédologique du Rwanda », fruit d'une coopération entre le ministère rwandais de l'Agriculture, de l'Élevage et des Forêts et le gouvernement belge. En se basant sur des combinaisons de données sur les matériaux parentaux, et sur les profils de sols (profondeurs des sols, classes de drainage, texture, propriétés physicochimiques), 276 unités taxonomiques, ou séries de sols, ont été identifiées. Ces séries caractérisent le paysage pédologique du Rwanda à partir de 43 cartes à l'échelle 1:50 000^e couvrant l'ensemble du territoire (IMERZOUKENE et VAN RANST, 2001 ; VERDOODT et VAN RANST, 2006a ; VERDOODT et VAN RANST, 2006b). Les profils et leurs différents horizons ont été échantillonnés et analysés selon des méthodes physicochimiques standards, dans les laboratoires d'analyse des sols de Kigali (Rwanda), de l'université de Gand ou de l'université catholique de Louvain-La-Neuve (Belgique).

Contrôle qualité des données et représentativité

Le contrôle qualité de l'information accumulée dans la base de données des profils de sols a été réalisé par un examen systématique (1) de la distribution spatiale des variables pour lesquelles existaient des cartes thématiques indépendantes (par ex. des cartes administratives ou des modèles digitaux de terrain) et (2) de la cohérence de chacune des valeurs de propriétés physicochimiques telles que le pH ou la granulométrie par exemple. Cette cohérence a été appréciée grâce à la connaissance de l'étendue des valeurs attendues, établie selon les types de sols et des corrélations entre variables. Nous avons vérifié la représentativité des profils en s'assurant qu'ils étaient bien représentatifs géographiquement des types de sols et des usages des sols donnés grâce aux cartes des sols et aux cartes des usages des terres de l'espace rural du Rwanda.

Traitement et analyse des données

La couche de sol 0-30 cm peut être constituée de plusieurs couches (par ex. 0-10 et 10-30 cm) pour lesquelles des propriétés physicochimiques ont été mesurées. Aussi, pour estimer les propriétés de la couche 0-30 cm, une moyenne pondérée a été calculée, qui tient compte de l'épaisseur de chacune des couches constituantes. Puis les étendues des valeurs, les moyennes et les déviations standards ont été calculées pour les paramètres mesurés de la couche de sol 0-30 cm.

Le stock de COS, noté C_{stock} (Mg C.ha⁻¹), de chaque horizon a été calculé à partir de la teneur en COS selon la formule suivante :

$$C_{\text{stock}} = C_{\text{conc}} \times Da \times (1-CF) \times d \times 0,1 \quad (1)$$

où C_{conc} est la teneur en COS (g C.kg⁻¹), Da la densité apparente (g.cm⁻³), CF le volume des éléments grossiers (%) et d l'épaisseur de la couche d (cm).

Les teneurs en COS (méthode WALKLEY et BLACK, 1934), les volumes des éléments grossiers (tamisage > 2 mm) et les densités apparentes (méthode volumétrique au cylindre) sont issus de la base de données des sols du système d'information des sols rwandais.

Les stocks de COS de la couche (0-30 cm) par unité de surface ont ensuite été calculés en faisant la somme des stocks de COS de toutes les couches de sols jusqu'à 30 cm de profondeur. Les données concernant les usages des terres ont été renseignées à partir des descriptions de profils. Les données ont ensuite été analysées pour mettre en évidence l'influence du type de sol et de l'usage des terres sur les stocks de COS.

Résultats

Caractérisation des sols rwandais

Bien qu'étant un petit pays enclavé (26 000 km²), le Rwanda montre une grande diversité de conditions climatiques, géologiques et géomorphologiques. Avec des altitudes comprises entre 900 et 4 500 m (fig. 1), les paysages du Rwanda sont variés, depuis les plaines couvertes de savanes à l'est, sous un climat chaud et semi-aride, aux forêts pluviales des hautes terres sous un climat frais et humide à l'ouest et au nord-ouest. Les sols très altérés dominent dans les pédiplaines orientales et méridionales, tandis que les sols des vallées et des hautes terres sont régulièrement rajeunis par érosion ou par des dépôts alluviaux, colluviaux ou encore par des matériaux volcaniques. En dehors des trois parcs nationaux, dédiés majoritairement à la conservation de la nature, l'agriculture est le principal usage des terres rencontré au Rwanda.

Représentativité du système d'information des sols rwandais

La figure 1 montre la localisation des profils de sols. La densité moyenne des échantillonnages est d'un profil pour 14 km². Cependant, il existe d'importantes variations régionales car la stratégie de cartographie a concentré les observations dans des zones pilotes situées dans différents environnements géomorphologiques.

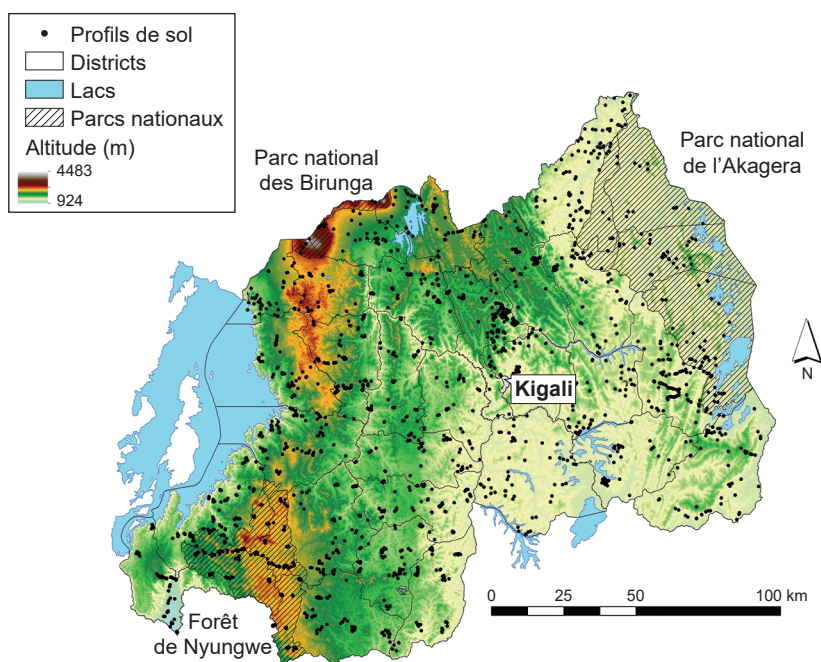


Figure 1
Localisation des profils de sols réalisés au Rwanda.

Les Cambisols (27 %), les Ferralsols (25 %), les Acrisols (13 %) et les Alisols (10 %) sont les mieux représentés dans la base de données des profils. Cette dernière comprend aussi bien des sols cultivés que non-cultivés et la plupart des profils de sols sont localisés sous des cultures (32 %) ou sous des jachères de plus de 5 ans (26 %) ; viennent ensuite les sols sous des plantations (14 %), sous des forêts naturelles (13 %), sous des végétations herbacées naturelles (prairies, savanes) (10 %) et sous des pâturages permanents (2 %). Ce dernier usage des terres semble sous-représenté dans la base de données, de nombreuses jachères et zones herbacées étant pâturées.

Après l'étape du contrôle qualité, 1 466 profils ont été retenus afin de modéliser les propriétés des sols. Le nombre de propriétés mesurées dans ces profils est cependant très hétérogène. La diversité des facteurs pédogénétiques se remarque aux grandes variations des propriétés physiques et chimiques des sols (tabl. 1).

Stocks de COS (0-30 cm)

À partir des mesures de densité apparente, il a été possible de calculer les stocks de COS, jusqu'à 30 cm de profondeur, pour 149 profils représentatifs de 96 séries de sols (sur les 276 identifiés préalablement), soit 36 % de la couverture pédologique du Rwanda. En moyenne, ces stocks de COS sont de $85,5 \pm 44,0 \text{ Mg C.ha}^{-1}$. Cependant, les différences sont importantes selon le type

Tableau 1
Variations de quelques propriétés physiques, chimiques et minéralogiques des sols rwandais (0-30 cm) contenus dans la base de données des profils.

Descriptions	Unités	Nombre de profils	Moyennes	Étendues
Fertilité physique des sols				
argile	%	1 410	36 ± 15	2 – 85
limon	%	1 410	21 ± 12	2 – 77
sable	%	1 410	43 ± 17	0 – 90
densité apparente	Mg.m ⁻³	150	1,1 ± 0,3	0,5 – 1,7
teneur en eau à pF=2,5*	%	209	31 ± 18	6 – 158
teneur en eau à pF=4,2*	%	209	20 ± 13	2 – 122
Fertilité chimique des sols				
pH-H ₂ O		1 429	5,1 ± 1,0	2,8 – 11,2
carbone organique	%	1 431	2,88 ± 2,61	0,29 – 32,80
azote total	%	1 325	0,222 ± 0,186	0,028 – 2,368
phosphore assimilable	ppm	364	19,19 ± 43,31	0,00 – 372,00
Ca ²⁺ échangeable	cmol(+).kg ⁻¹ sol	1 338	4,49 ± 6,80	0,00 – 92,80
Mg ²⁺ échangeable	cmol(+).kg ⁻¹ sol	1 342	1,77 ± 3,00	0,00 – 51,07
K ⁺ échangeable	cmol(+).kg ⁻¹ sol	1 345	0,41 ± 0,70	0,00 – 12,40
Na ⁺ échangeable	cmol(+).kg ⁻¹ sol	1 335	0,11 ± 0,82	0,00 – 27,67
Minéralogie des sols				
CEC*-NH ₄ OAc	cmol(+).kg ⁻¹ sol	1 333	17,81 ± 13,49	1,58 – 200,27
Fe ₂ O ₃ libre	%	226	4,95 ± 3,71	0,13 – 28,31
Fe ₂ O ₃ amorphe	%	25	0,91 ± 0,76	0,13 – 2,73

* CEC : capacité d'échange cationique.

pF : potentiel de l'eau (pF = 2,5 l'eau est retenue par le sol à une pression de 30 kPa et pF = 4,2 à une pression de 1 500 kPa).

de sol – sols caillouteux, sols cultivés appauvris en matière organique et sols de la forêt de Nyungwe – avec des valeurs variant de 13,9 à 240,4 Mg C.ha⁻¹. La distribution des valeurs de stocks de COS est asymétrique : seuls 10 % des stocks de COS dépassent 143,5 Mg C.ha⁻¹ (fig. 2).

L'analyse des résultats en fonction du type de sol et de leurs usages (tabl. 2) montre que les stocks de COS les plus élevés se retrouvent dans les Andosols (149,4 ± 44,2 Mg C.ha⁻¹). Ceci est dû à la stabilisation de la matière organique de la couche humifère par des complexes organo-minéraux, Al-humus.

Les pratiques culturales réduisent les stocks de COS à travers l'augmentation de la minéralisation de la matière organique et les pertes par érosion, même si les stocks de COS rapportés ici et mesurés dans les années 1980 restent élevés. Les

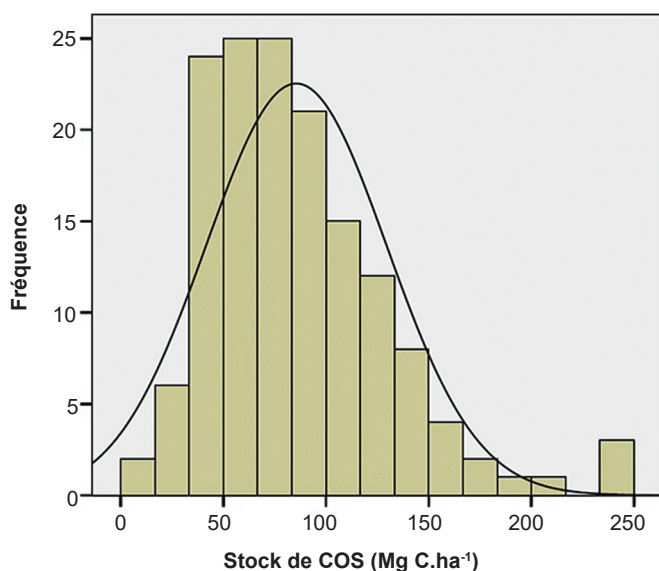


Figure 2
Histogramme de fréquences des stocks de carbone organique (0-30 cm)
de 149 profils de sols du Rwanda.

stocks de COS les plus faibles sont enregistrés dans les Luvisols et les Ferralsols, avec des valeurs moyennes respectives de 55,5 et 59,9 Mg C.ha⁻¹. Les faibles stocks dans les Luvisols sont dus aux pratiques agricoles et les Ferralsols sont connus pour leurs faibles teneurs, quelle que soit leur usage (tabl. 2).

Les valeurs de stocks de COS calculées à partir de la base de données des profils des sols du Rwanda correspondent assez bien aux estimations pour l'ensemble de l'Afrique centrale : 58 ± 47 Mg C.ha⁻¹ pour les Ferralsols, 65 ± 48 Mg C.ha⁻¹ pour les Acrisols, 81 ± 50 Mg C.ha⁻¹ pour les Cambisols (BATJES, 2008). Néanmoins, on observe des stocks plus importants dans les Acrisols et les Cambisols du Rwanda, ce qui montre que l'usage des terres et les conditions climatiques y sont différents.

Les variations d'altitude, de la position topographique et de la texture des sols expliquent les différences modérées observées au sein de chaque type de sol et chaque type d'usage (tabl. 2). Puisque les teneurs en COS et en éléments grossiers ont été mesurées sur 1 365 profils, l'utilisation d'équations de pédotransfert validées pour la région permettra d'enrichir considérablement la base de données des stocks de COS.

Il sera alors possible (1) d'estimer et d'analyser de façon plus approfondie les stocks de carbone organique dans les sols rwandais (0-30 cm) en fonction des facteurs de formation et de stabilisation du COS et (2) de cartographier les stocks de carbone organique des sols du Rwanda jusqu'à 30 cm de profondeur.

Tableau 2
Stocks de carbone organique (Mg C.ha^{-1}) dans la couche (0-30 cm) du Rwanda
répartis selon les principaux types de sols et leurs usages.

Types de sols	Usages des sols					Moyenne
	Forêt	Prairie	Plantation	Cultures	Jachères > 5 ans	
Andosols	164,9 ± 2,5	-	162,5	107,5 ± 11,8	235,6	149,4 ± 44,2
Cambisols	148,8 ± 63,8	-	98,9 ± 39,2	73,2 ± 49,4	106,2 ± 47,9	100,8 ± 49,0
Alisols	-	194,2	95,6 ± 45,2	87,7 ± 41,6	96,39	96,4 ± 43,3
Acrisols	170,3 ± 99,2	37,9	76,2 ± 10,1	86,3 ± 43,1	80,6 ± 28,4	87,1 ± 47,2
Ferralsols	-	39,5	65,6 ± 33,8	64,5 ± 23,0	56,7 ± 23,2	59,9 ± 24,7
Moyenne	159,5 ± 53,5	97,3 ± 64,2	87,1 ± 35,0	70,4 ± 36,1	42,0 ± 13,6	

Conclusion

Le système d'information des sols rwandais est une des bases de données existantes les plus complètes sur les sols du continent africain. C'est un outil clé pour décrire l'environnement physique dans lequel vivent les agriculteurs des différentes régions du pays. Cette base de données estime également les valeurs de plusieurs propriétés physicochimiques des sols. Aussi, celle-ci devrait être exploitée de façon plus approfondie afin de fournir des estimations nationales et/ou régionales fiables sur des propriétés cruciales des sols. Pour ce qui est des stocks de COS dans la couche (0-30 cm), cette base de données montre un haut potentiel de séquestration du carbone, surtout dans les hautes terres du pays. Ces sols étant sensibles à l'érosion, ils sont également sujets à d'importantes pertes de carbone une fois défrichés et cultivés. La valeur de cette banque de données va au-delà de l'intérêt national. En effet, au vu de la gamme étendue d'environnements tropicaux qu'elle prend en compte, ses données seront utiles au développement d'équations de pédotransfert pour estimer des propriétés physiques et chimiques des sols des différentes zones d'altitudes (hautes terres) d'Afrique centrale.

Bibliographie

**BATIONO A., HARTEMINK A., LUNGU O.,
NIAMI M., OKOTH P., SMALING E.,
THIOMBIANO L., 2006**

« African soils: their productivity and profitability of fertiliser use ». In : *African Fertiliser Summit*. 9-13th June 2006, Abuja, Nigeria.

BATJES N., 2008

Mapping soil carbon stocks of Central Africa using SOTER. *Geoderma*, 146 : 58-65.

IMERZOUKENE S., VAN RANST E., 2001

Une banque de données pédologiques et son S.I.G. pour une nouvelle politique agricole au Rwanda. *Bull. Scéan. Acad. r. Sci. Outre-Mer*, 47 (3) : 299-329.

VERDOODT A., VAN RANST E., 2006A

Environmental assessment tools for multi-scale natural resources information systems. A case study of Rwanda. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 114 : 170-184.

VERDOODT A., VAN RANST E., 2006B

The soil information system of Rwanda: a useful tool to identify guidelines towards sustainable land management. *Afrika Focus*, 19 (1-2) : 69-92.

WALKLEY A., BLACK I. A., 1934

An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37 (1) : 29-38.